
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 612R011 Elektronické informační a řídicí systémy

Konstrukce regulátoru výstupního tlaku zásobníku vzduchu

Construction Regulator Output Pressure Air Receiver

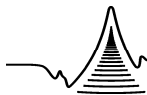
Bakalářská práce

Autor: **Ondřej Plachý**

Vedoucí práce: Ing. Jiří Jelínek

Konzultant: Ing. Libor Kupka, Ph.D.

V Liberci 3. 5. 2009



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

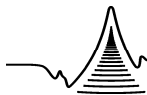
Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 3. 5. 2009

Podpis:



Anotace

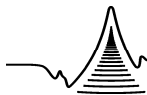
Cílem této bakalářské práce je prostudovat současné způsoby regulace a redukce tlaku vzduchu, a poté navrhnout a prakticky realizovat vlastní regulátor výstupního tlaku zásobníku vzduchu.

Zařízení má za úkol udržovat stálý tlak i při změně vstupního tlaku, aniž by došlo k výrazné odchylce od nastavené hodnoty a k velkým časovým prodlevám v regulaci, čehož je za použití tohoto regulátoru tlaku dosaženo.

Annotation

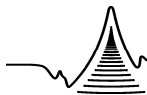
The aim of this Bachelor thesis is to study the current methods of regulation and reduction of air pressure, and then to propose and to carry out practically the own Regulator for Output Pressure of the Air Receiver.

The device has the task to maintain a constant pressure even with the change of the entrance pressure without the distinct divergence from the setting value and without a long delay of the control whereof by using of this controller it is achieved.



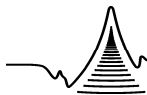
Poděkování

Na této stránce bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Jelínkovi, který byl vždy ochoten pomoci a zodpověděl mi otázky týkající se mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu a pomoc, které se mi od nich dostávalo po celou dobu mého studia.

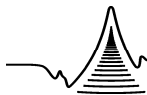


Obsah

Seznam zkratek.....	8
Seznam symbolů	9
Seznam obrázků	10
Úvod	11
1 Problematika redukce a regulace tlaku vzduchu.....	12
1.1 Průmyslové využití tlakového vzduchu	12
1.2 Způsoby regulace a redukce tlaku vzduchu.....	14
1.2.1 Typy regulací	19
1.2.2 Analogové regulátory	20
1.2.3 Číslicové regulátory	21
2 Návrh vlastního konstrukčního řešení a zhotovení vzorků.....	23
2.1 Proces při návrhu konstrukce.....	23
2.2 Technické parametry návrhu.....	24
2.2.1 Materiálové parametry	25
2.2.2 Výrobní parametry	25
2.3 Návrh pro konkrétní tlakový systém CZ 200.....	26
2.4 Vlastní konstrukce.....	29
2.5 Výroba funkčního vzorku.....	31
3 Vytvoření výkresové dokumentace	33
3.1 Obecné zásady pro tvorbu technické dokumentace.....	33
3.2 Použití CAD systému.....	33
4 Měření na prototypu regulátoru a vyhodnocení výsledků	36
4.1 Fyzikální vlastnosti vzduchu a měření tlaku.....	36
4.2 Přípravek pro měření výstupního tlaku	38
4.3 Matematický výpočet závislosti výstup. tlaku na změnu vstupního tlaku	38
4.4 Výsledky měření závislosti výstupního tlaku na změnu vstupního tlaku	40
4.5 Výsledky měření při použití regulátoru tlaku v CZ 200.....	41
4.6 Vyhodnocení výsledků měření	42

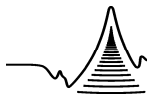


5 Možnosti dalšího průmyslového využití navrženého regulátoru.....	44
Závěr	45
Použitá literatura.....	46
Přílohy bakalářské práce.....	47
Seznam příloh	48
Příloha A. Výkresová dokumentace - TĚLESO	49
Příloha B. Výkresová dokumentace - PÍSTEK.....	50
Příloha C. Výkresová dokumentace - SEŘIZOVACÍ MATICE	51
Příloha D. Výkresová dokumentace - SESTAVA.....	52



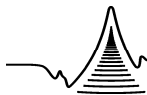
Seznam zkratek

CAD	Computer Aided Design (počítačová podpora konstruování)
NC	Numerical Control (číslicové řízení)
P regulátor	Proporcionální regulátor
PC	Personal Computer
PI regulátor	Proporcionálně integrační regulátor
PID regulátor	Proporcionálně integračně derivační regulátor
PMR	Pressure maximum range (maximální rozsah tlaku)
PT ₁ -člen	Proporcionální člen se zpožděním 1. řádu
PT ₂ -člen	Proporcionální člen se zpožděním 2. řádu
RS	Regulační smyčka



Seznam symbolů

D [mm]	vnitřní průměr
e	regulační difference
F [N]	síla
K	plošný koeficient
K_1	integrační činitel
K_p	konstanta úměrnosti
P [bar]	tlak
Re [N/mm ²]	mez kluzu
S [m ²]	plocha
s	bezpečnostní konstanta
S_2	výstupní funkce
T [s]	perioda
t [s]	čas
V [m ³]	objem
w	přednastavené hodnoty
x	skutečné hodnoty
ΔP_v	rozdíl tlaků



Seznam obrázků

Obr. 1 Blokové schéma pneumatického ovládání mechanismu posuvu stroje [1]	12
Obr. 2 Regulační smyčka s regulátorem, ovladačem, regul. systémem a měř. členem [1].....	15
Obr. 3 Zjednodušené funkční schéma regulace [1]	16
Obr. 4 Odezva PT1-členu na skokový signál [1].....	17
Obr. 5 Tlakový zásobník s chováním PT1-členu [1].....	17
Obr. 6 Skoková odezva I-členu [1].....	18
Obr. 7 Regulace pomocí I-členu (Spojitá regulace) [2]	19
Obr. 8 Regulační tlakový ventil [1]	20
Obr. 9 Regulační tlakový ventil 300 Pietro Fiorentina [8].....	21
Obr. 10 PID regulátor tlaku SentronicD [5].....	22
Obr. 11 Schéma postupu řešení konstrukčního úkolu [3]	23
Obr. 12 CZ 200.....	26
Obr. 13 Náčres CZ 200 – nabíjení	27
Obr. 14 Náčres CZ 200 – výstřel	27
Obr. 15 Návrhový výkres	30
Obr. 16 Regulátor výstupního tlaku pro CZ 200.....	32
Obr. 17 Struktura systému CAD [1]	34
Obr. 18 Manometr [7].....	37
Obr. 19 Elektronický tlakový snímač [6].....	37
Obr. 20 Přípravek pro měření výstupního tlaku	38
Obr. 21 Graf difference tlaku.....	40
Obr. 22 Graf konzistence rychlostí jednotlivých střel bez použití regulátoru.....	41
Obr. 23 Graf konzistence rychlosti jednotlivých střel při použití regulátoru	41
Obr. 24 Chronograf X3100.....	42
Obr. 25 Graf konzistence rychlostí jednotlivých výstřelů s a bez regulátoru	43

Úvod

Regulace je proces, který má za úkol udržovat určitou fyzikální veličinu na požadované hodnotě, případně v požadovaných mezích. Regulátor veličinu stabilizuje, a proto se v některých aplikacích nazývá stabilizátor. Regulace je v dnešní době nepostradatelnou součástí průmyslu, především automatizaci. V současnosti jsou používány regulátory analogové, binární a digitální.

Úkolem této bakalářské práce je zpracování problematiky regulace a redukce tlaku vzduchu, a navrhnutí a zhotovení vlastního regulátoru výstupního tlaku vzduchu. Navržený regulátor by měl sloužit k regulaci vysokotlakého vzduchu v zásobníku sportovní vzduchové pušky (větrovky) CZ 200, čímž zajistí větší počet výstřelů a nižší diferenci rychlostí jednotlivých ran.

Praktický návrh regulátoru vychází z konkrétních požadavků zadavatele s ohledem na cenu výroby, materiálu a součástek.

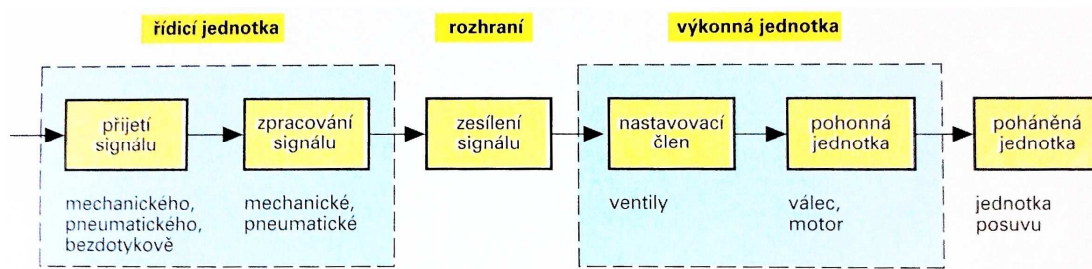
1 Problematika redukce a regulace tlaku vzduchu

V současné době se stále více rozmáhá využití stlačeného vzduchu v průmyslu i v běžném životě. Z tohoto důvodu je nutné věnovat se problematice jeho redukce a regulace, aby mohl být potenciál stlačeného vzduchu co nejlépe využit. K tomuto účelu slouží regulátory, redukční ventily, pojistné ventily, šoupátka a další zařízení, která mají za úkol udržovat stálý tlak či průtok vzduchu.

1.1 Průmyslové využití tlakového vzduchu

Než budou ukázány jednotlivé typy regulací a zařízení, která se k tomuto účelu používají, je dobré vědět, k čemu lze tlakový vzduch v průmyslu využít.

Nejčastější využití je u pneumatických mechanismů, které slouží k dopravě signálu, ovládání ventilů, pohonu pneumatických motorů a pneumatických válců. Uspořádání pneumatických zařízení je patrné na blokovém schématu (obr. 1).



Obr. 1 Blokové schéma pneumatického ovládání mechanismu posuvu stroje [1]

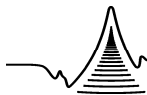
Další oblasti použití stlačeného vzduchu:

- **Točivé pohony**

Pneumatické motory sloužící k šroubování, vrtání a broušení.

- **Lineární pohony**

Tlakové válce pro přísun, upnutí, přesun a odsouvání předmětů.



- **Vibrační pohony**

Pneumatická kladiva a sbíječky pro vysekávací, rozbíjecí, lisovací a nýtovací práce.

- **Tryskové vyfukování**

Vyfukování člunku v textilních strojích, nebo čištění tlakovým vzduchem (piliny, prach a jiné nečistoty).

- **Povrchová úprava**

Pískování a stříkání barev.

- **Měření**

Měřicí a zkušební přístroje pro měření délek.

- **Doprava**

Doprava sypkých, válcových a kulových předmětů potrubím (písek, potrubní pošta).

Výhody pneumatických pohonů:

- Stlačený vzduch je možné dopravovat vedením a uchovávat v zásobnících.
- Stlačený vzduch není citlivý na kolísání teploty a může být bezpečně používán v prostorách se zvýšeným požárním nebezpečím a nebezpečím výbuchu.
- Rychlost pístu v pneumatických válcích dosahuje až 3 m/s.
- Pneumatické motory mohou dosáhnout až 30 000 ot/min a malé turbíny až 450 000 ot/min.
- Nářadí i přípravky mohou být stále zatíženy a jsou odolné proti přetížení (tj. nezničí se při zablokování pohybu, jako např. el. motory).
- Pneumatické pohony mají vysoký výkon v porovnání s jejich hmotností. Navíc jsou robustní a lehce opravitelné.

Nevýhody pneumatických pohonů

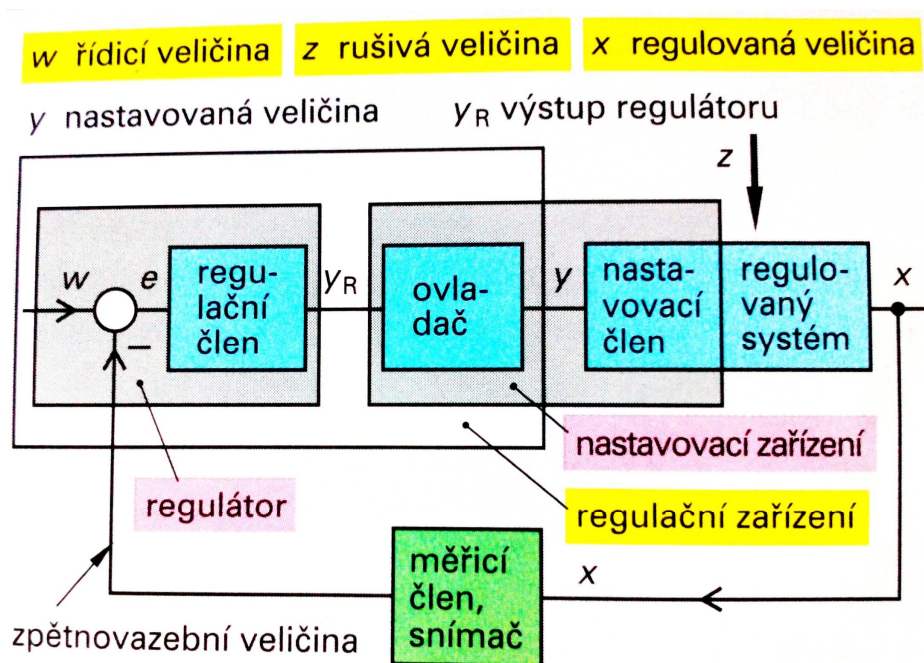
- Kompresor a vypouštěcí ventily jsou značně hlučné.
- Při netěsnostech v tlakovém systému dochází k velkým ztrátám tlakového vzduchu, což zvyšuje náklady na provoz.
- Olejová mlha, která je obsažena ve vypuštěném vzduchu, zatěžuje okolí pracoviště.
- Nelze dosáhnout velkých sil na pístech pneumatických válců oproti hydraulickým válcům, jelikož lze prakticky použít tlak 10bar.
- Není možné dosáhnout rovnoměrného, pomalého, přímého nebo rotačního pohybu.

Na základě těchto vlastností pneumatických pohonů a mechanismů lze rozhodnout, zda je pro dané řešení vhodné užít tento druh řízení a pohonu, nebo zvolit jiný druh pohonu (mechanických, elektrických či hydraulických). [1]

1.2 Způsoby regulace a redukce tlaku vzduchu

V dnešní době je přesná regulace v průmyslu velmi důležitá, jelikož pneumatické a hydraulické systémy, které se používají v automatizaci, jsou z velké části konstruovány na stabilní hodnoty vstupního tlaku, a jeho změna má vliv na přesnost a stabilitu celého systému.

Regulace probíhá v uzavřené smyčce, která je tvořena nastavovacím řetězcem a zpětnou vazbou regulované veličiny. Toto provedení je dobře patrné na schématu regulační smyčky (obr. 2)



Obr. 2 Regulační smyčka s regulátorem, ovladačem, regul. systémem a měř. členem [1]

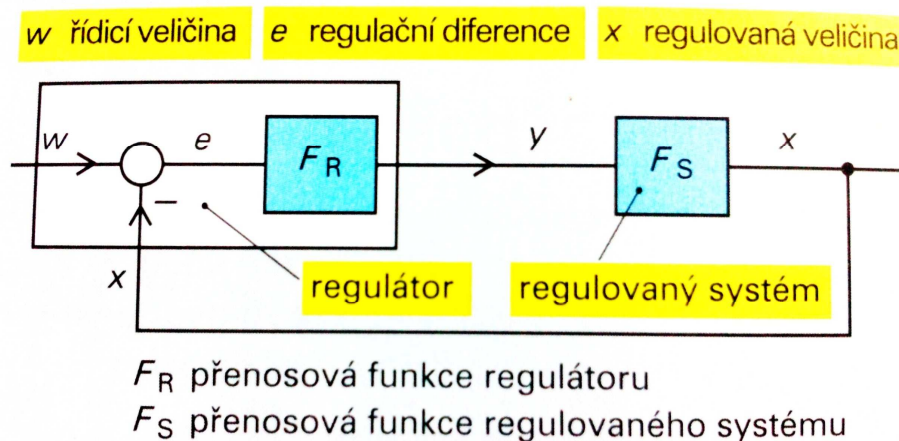
V regulační smyčce je regulovaná veličina snímána a srovnávána v komparátoru s přednastavenou hodnotou. Rozdíl přednastavené hodnoty W a skutečné hodnoty x je regulační diference, vzorec 1.1.

$$e = W - x \quad (1.1)$$

Ta je regulačním členem transformována na výstup Y_r a tato veličina je vstupní veličinou ovladače, jehož výstup je nastavovací veličinou y , která nastavuje pomocí nastavovacího členu regulovanou veličinu x .

Ve stabilizovaném stavu RS je diference velmi malá nebo nulová. Při výskytu poruchy nebo změně nastavení přednastavené hodnoty řídící veličiny W naroste regulační diference, která je změnou nastavované veličiny y minimalizována. Aby nedocházelo ke kmitům v RS, musí být zajištěno, aby změna nastavovací veličiny neprobíhala příliš rychle.

Zjednodušené schéma regulace, které lépe odpovídá běžným regulátorům tlaku, je zobrazeno na schématu zjednodušené regulace (obr. 3). Regulátor zde přímo řídí nastavovacím signálem y nastavování reg. systému.



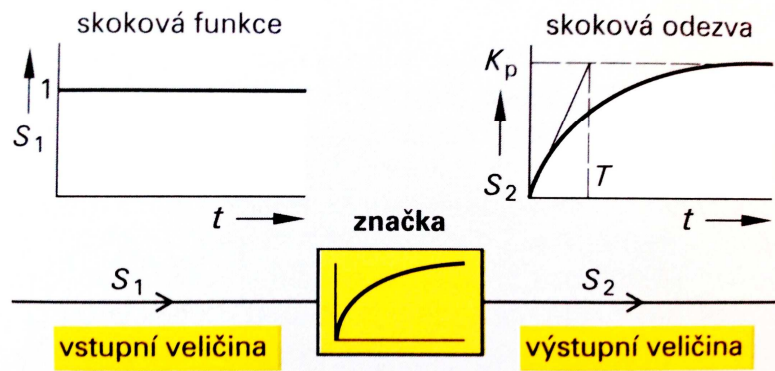
Obr. 3 Zjednodušené funkční schéma regulace [1]

Pro regulaci a redukci tlaku vzduchu se nejčastěji používají regulátory s proporcionálním členem se zpožděním 1. řádu (PT_1 – Člen) a integračním členem (I -člen).

PT_1 – Člen má výstupní odezvu proporcionální s určitým zpožděním vstupního signálu (obr. 4). Charakteristikami PT_1 – Členu jsou konstanta úměrnosti K_p a konstanta časového zpoždění T . Odezvou S_2 na skokovou vstupní funkci S_1 je exponenciální funkce, která odpovídá přechodnému jevu při nabíjení kondenzátoru ve SS obvodu. Funkce S_2 je poté dána vztahem 1.2.

$$S_2 = K_p \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right] \quad (1.2)$$

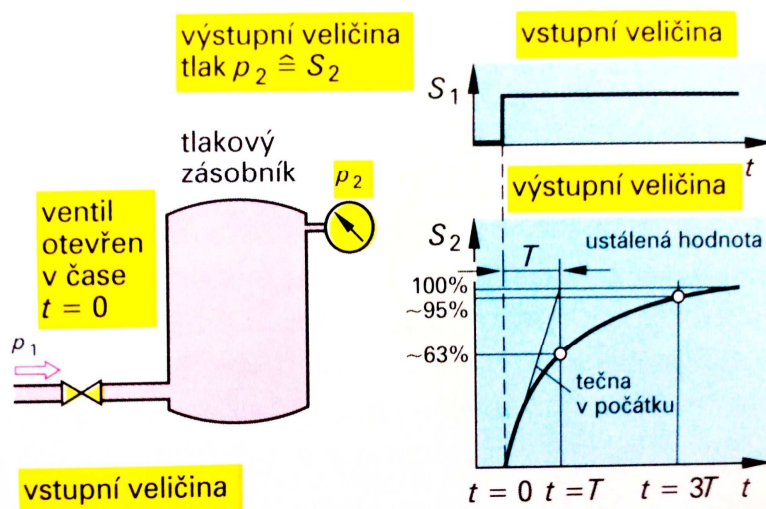
Po době $t = 3T$ má mocnina $\exp(-t/T)$ hodnotu $e^{-3} \approx 0.05$ a výstupní funkce má hodnotu K_p krát větší než vstupní funkce.



Obr. 4 Odezva PT1-členu na skokový signál [1]

Tato charakteristika znázorňuje plnění tlakového zásobníku. Při plnění tlakového zásobníku přes ventil proudem plynu dosáhne tlak P_2 v zásobníku postupně tlaku P_1 ve vstupním potrubí (obr. 5). Skoková odezva zásobníku znázorňuje, že se tlak P_2 přibližuje asymptoticky k ustálené hodnotě P_1 . Tečna vedená ke křivce průběhu tlaku P_2 v jejím počátku ($t = 0$) protne přímkou ustáleného tlaku $P_2 = P_1$ v bodě $t = T$, kde T je časová konstanta tlakového zásobníku chápaného jako PT_1 – Člen. Při velké časové konstantě dochází ke vzniku ploché křivky a velkého zpoždění. Toto zpoždění lze odstranit zmenšením tlakového zásobníku.

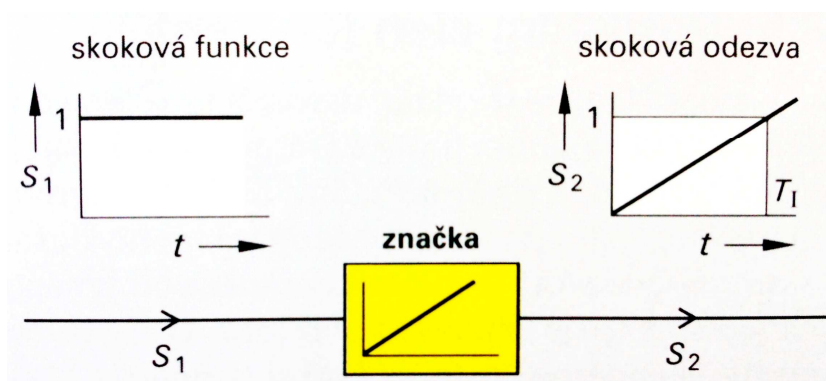
V systému, ve kterém se nachází jeden tlakový zásobník, je dosaženo v čase $t = T$ cca. 63% ustálené hodnoty a v čase $t = 3T$ cca. 95% ustálené hodnoty.



Obr. 5 Tlakový zásobník s chováním PT1-členu [1]

Výstupem **I-členu** je signál, který odpovídá integrované hodnotě vstupního signálu S_1 (obr. 6). Integrovaní spočívá v průběžném přičítání vstupní hodnoty (integrace podle času). Integrační časová konstanta T_1 udává čas, ve kterém dosáhne výstup hodnoty 1 při konstantní vstupní funkci s hodnotou 1. Převrácená hodnota integrační konstanty T se nazývá integrační činitel K_1 , znázorněný ve vztahu 1.3.

$$K_1 = \frac{1}{T_1} \quad (1.3)$$



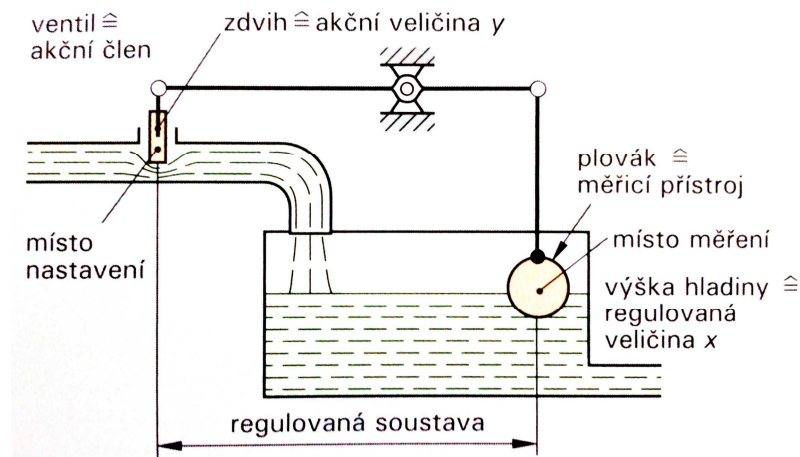
Obr. 6 Skoková odezva I-členu [1]

Integrační členy vznikají při časovém převodu těchto veličin:

- Rychlosti na dráhu
- Zrychlení na rychlost
- Otáčky na úhel natočení
- Průtok na objem látky
- Elektrický proud na elektrický náboj
- Kmitočet impulzů na počet impulzů

Pro regulaci tlaku vzduchu je tedy důležitý vztah průtoku na objem látky, neboť tlak vzduchu lze interpretovat jako zvyšování objemu vzduchu v uzavřeném prostředí. Se zvyšujícím se průtokem se rychleji zvětšuje objem vzduchu, a tím i tlak vzduchu. [1]

Příklad takto regulované soustavy nalezneme na schématu napouštění nádrže (obr. 7). [2]



Obr. 7 Regulace pomocí I-členu (Spojitá regulace) [2]

Aby toto schéma aproximovalo regulaci tlaku, musí být provedeny drobné úpravy. Nejpodstatnější změna v tomto schématu je použití kapaliny, která je téměř nestlačitelná oproti vzduchu či jinému plynu. Při regulaci tlaku je plovák nahrazen za pístový ventil spojený s pákou ventilu (akční člen), který bude přitlačován silou pružiny při zvýšení tlaku na požadovanou hodnotu (obdoba dosáhnutí požadované hladiny), tlaková síla přetlačí sílu pružiny a pomocí pákového mechanismu se zavře ventil přívodu tlakového vzduchu.

1.2.1 Typy regulací

Obecně se regulátory liší dle počtu poloh nastavovací veličiny:

- **Spínací (přepínací) regulátory**

Mění nastavovací veličinu přepínáním dvou až několika hodnot.

- **Analogové regulátory**

Přestavují plynule nastavovací veličinu.

- **Číslicové regulátory**

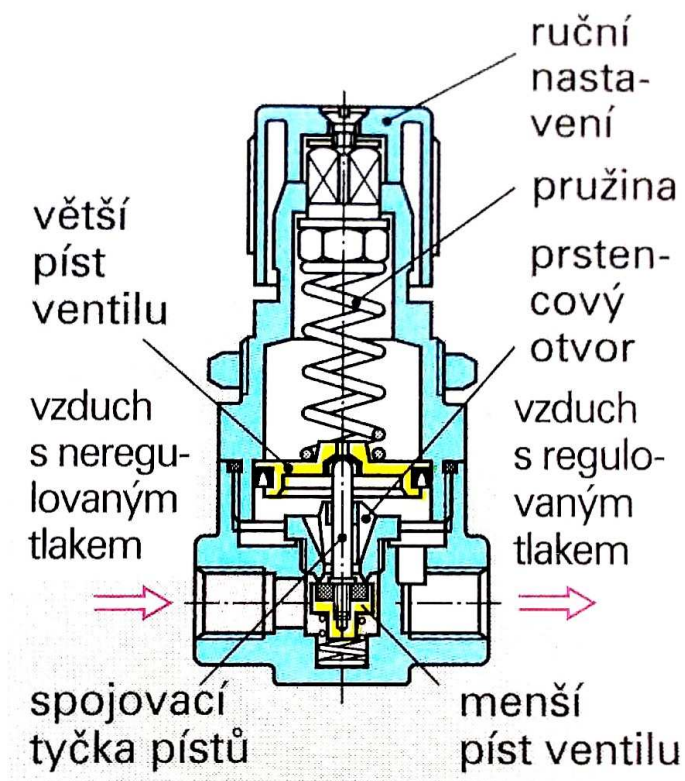
Mění nastavovanou veličinu stupňovitě. Při mnohastupňové regulaci lze dosáhnout jemné a plynulé regulace téměř jako u analogových regulací.

Pro účely regulace tlaku vzduchu a jiných plynů se spínací regulace příliš nehodí z důvodu nemožnosti nastavování plynulého rozsahu, a proto nebude dále hlouběji probírána. [1]

1.2.2 Analogové regulátory

Analogové regulátory mohou nastavit nastavovací veličinu na kteroukoliv hodnotu mezi dvěma krajními hodnotami spojitého rozsahu. Někdy jsou též označovány jako spojité regulátory. Nejdůležitějšími spojitými regulátory jsou P, PI a PID regulátory.

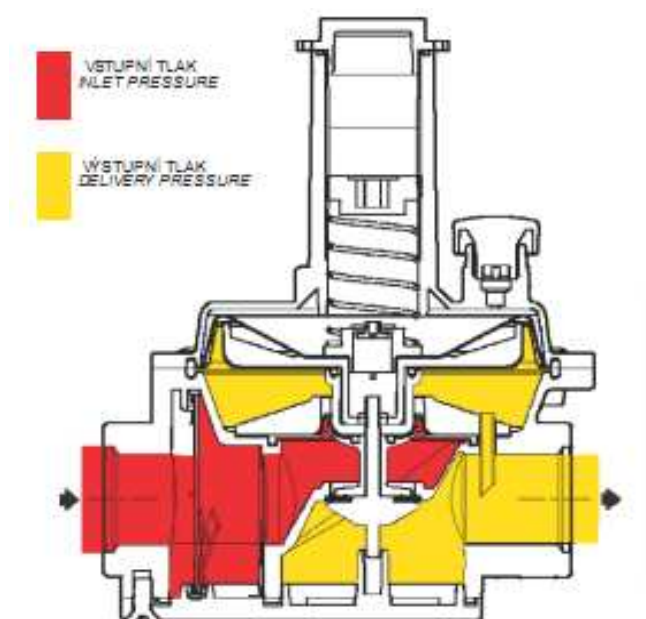
Příkladem typického analogového tlakového regulátoru je regulační tlakový ventil (obr. 8), který se běžně používá v průmyslových jednotkách na úpravu stlačeného vzduchu, kde má za úkol udržovat konstantní tlak na nastavené hodnotě.



Obr. 8 Regulační tlakový ventil [1]

Způsob regulace probíhá pomocí dvoupístového (dvoutalířového) ventilu. Na větší píst působí regulovaný (provozní) tlak vzduchu a proti němu působí opačnou silou stavitelná pružina z druhé strany pístu. Poklesne-li provozní tlak pod žádanou hodnotu, stlačí pružina níže větší a tím i menší píst, který otevře větší plochu pro průtok neregulovaného vzduchu. Při dosažení provozního tlaku nastavené hodnoty se přepouštěcí otvor zcela uzavře do té doby, dokud tlak nepoklesne pod žádanou hodnotu. [1]

Tento způsob využívají například průmyslové regulátory firmy Pietro Fiorentini řady 300-310, jež jsou koncipovány jako vyrovnávací regulátory tlaku plynu řízené pružinou s dvojitou pojistnou membránou a vyváženou kuželkou. Schéma funkce těchto regulátorů je vidět na schématu tohoto regulátoru s rychlouzávěrem (obr. 9). Tyto regulátory jsou používány pro rozsah 5-300mBar v závislosti na použití vyrovnávací pružiny. [8]



Obr. 9 Regulační tlakový ventil 300 Pietro Fiorentina [8]

1.2.3 Číslicové regulátory

Hlavní úlohou počítačů v zařízeních je řízení a regulace. V jednotlivých případech se jedná především o snímání hodnot veličin informujících o stavu procesu, například teploty, dráhy tlaku či otáčkách, jejich porovnávání

s mezními hodnotami vypočtenými z hodnot řídicích veličin a výpočty hodnot nastavovacích signálů.

Počítač zde počítá především regulační diferenci a v souladu s naprogramovanými vlastnostmi regulátoru vypočítává hodnoty nastavovací veličiny a odpovídající signály předává aktéru v regulační soustavě. Počítač také kontroluje, zda nebyla překročena mez bezpečnosti regulované veličiny, a tím zajišťuje vyšší bezpečnost v regulovaném procesu. K číslicové regulaci lze použít mikropočítač nebo desky číslicové regulace. [1]

Pro příklad číslicového regulátoru tlaku je zde prezentován proporcionální ventil s PID regulátorem firmy Asco/Joucomatic, který nese označení SentronicD (obr. 10). Tento PID regulátor tlaku lze jednoduše programovat s pomocí PC programu nebo pomocí tlačítek a displeje přímo na regulátoru. K programování přes PC se používá kabel s rozhraním R232. Díky obousměrné sběrnici lze zároveň nastavovat vlastnosti ventilu a zároveň vizualizovat odezvu výstupního tlaku.

Rozsah výstupního tlaku tohoto regulátoru je v rozmezí 0-10Bar. Vstupní tlak je v rozsahu 6-13 Bar. Pracuje s analogovými vstupními signály 0-10V, 0-20mA, 4-20mA. [5]

Hystereze < 1 % PMR

Linearita: < 0,5 % PMR

Opakovatelnost: 0,5 % PMR



Obr. 10 PID regulátor tlaku SentronicD [5]

2 Návrh vlastního konstrukčního řešení a zhotovení vzorků

Na začátku každého spotřebního výrobku, stroje, zařízení či rozsáhlého investičního celku je projekt a konstruktéři, kteří určují technickou úroveň, kvalitu a výrobní náklady.

Při návrhu je nutné využívat metodiku konstruování, čímž se rozumí souhrn pracovních způsobů a vypracovaných speciálních metod optimálního postupu řešení konstrukčního úkolu. Přesto však neexistuje žádná univerzální metodika. Každý zkušený konstruktér vědomě či podvědomě používá svou vlastní metodiku, kterou si osvojil z vlastní zkušenosti, nebo si pro sebe upravil některou z publikovaných metodik. Osvojení zásad metodiky konstruování vede k systémovému a cílevědomému pojetí konstrukční práce, kdy při řešení problému vnímáme jednotlivé jevy a procesy komplexně v jejich vnitřních i vnějších souvislostech. [3]

2.1 Proces při návrhu konstrukce

V jednotlivých etapách konstrukčního procesu jsou kladeny různé nároky na vlastnosti a znalosti konstruktéra. V prvních fázích procesu (obr. 11) se více využívá intuice, originalita, široký odborný přehled, vědecké znalosti a schopnost syntézy z různých vědeckých oblastí.



Obr. 11 Schéma postupu řešení konstrukčního úkolu [3]

V závěrečných fázích procesu převážně při tvorbě výrobních výkresů převažuje rutinní práce. Je nutnější přesnost a úplnost každého dokladu, aplikace a syntéza znalostí v užší oblasti předpisů a standardů.

Před započítím vlastních konstrukčních prací je dobré si zvolit druh konstrukčního procesu, který dělíme na konstruování klasické (intuitivní) a konstruování metodické (systémové, vědecké).

- **Konstruování klasické (intuitivní)**

Řešení problému nejčastěji přichází jako okamžitý nápad, jedná se o důsledek nahromaděných informací získaných soustavným rozšiřováním vědomostí konstruktéra. Podpůrnou metodou tohoto způsobu konstruování je např. brainstorming. Tato metoda spočívá v tom, že několik osob během půl hodiny vymýšlí maximální počet možných řešení.

- **Konstruování metodické (systémové, vědecké)**

Podstata tohoto způsobu konstruování spočívá v tom, že tvůrčí řešení problému využívá vědecké metody poznání. Využívají se především metody analýzy, syntézy, abstrakce a zobecnění, konkretizace, indukce a dedukce.

Oba způsoby intuitivního i systémového konstruování se musí vzájemně doplňovat. Každý konstrukční proces je nemyslitelný bez intuice či systematického přístupu. Jedná se tedy o vytváření účelné kombinace obou směrů. [3]

2.2 Technické parametry návrhu

Každý návrh je dán určitými parametry, které je nutno dodržet. Parametry vycházejí z konstrukčního návrhu, a proto jsou s konstrukčním návrhem úzce spjaty. Někdy je nutné konstrukční návrh upravit, aby plnil jednotlivé požadavky z pohledu funkčnosti, bezpečnosti, ekonomičnosti či estetičnosti. Jindy lze tyto požadavky zajistit volbou vhodného materiálu či technologického postupu.

Tyto parametry se mohou dělit na materiálové parametry a výrobní parametry.

2.2.1 Materiálové parametry

Materiál je základním stavebním kamenem každého výrobku. Proto je jeho správná volba často klíčovým prvkem. Nejčastější materiály, které se používají při výrobě, jsou železné a neželezné kovy, dřevo, plast, sklo, guma, keramika, atd.

Důležitou vlastností materiálu součástek, které se používají v tlakových zařízeních, je pevnost v tlaku a tahu. Jelikož jsou tyto součástky často namáhány vysokými silami, nesmí být s ohledem na bezpečnost překročena mez kluzu, při níž by došlo k trvalé deformaci součástky. Zároveň je kladen důraz na dobrou odolnost proti korozi, která může způsobit zeslabení stěny a tím snížení pevnosti materiálu.

2.2.2 Výrobní parametry

Po volbě vhodného materiálu je také nutná správná volba výrobního (technologického) postupu, který zajistí požadované vlastnosti konstrukčního návrhu a velmi často výrazně ovlivní ekonomičnost výroby. Mezi nejčastější technologické postupy patří slévání, tváření, dělení, obrábění a spojování.

Při výrobě tlakových zařízení se nejčastěji využívá pro výrobu prvotního polotovaru slévárenských a tvářecích postupů, poté jsou jednotlivé díly přesně obráběny do požadovaných tvarů a spojovány do funkčních celků rozebíratelnými i nerozebíratelnými spoji. Díky tomuto postupu lze docílit hospodárnější výroby jak z hlediska úspory materiálu, tak i nižší časové náročnosti výroby.

2.3 Návrh pro konkrétní tlakový systém CZ 200

Praktickou částí této bakalářské práce je návrh a realizace regulátoru výstupního tlaku vzduchu, který je umístěn mezi zásobník vzduchu a přepouštěcím ventilem vzduchové pušky (větrovky), jež vyrábí česká zbrojovka Uherský Brod a nese výrobní označení CZ 200 (obr. 12).

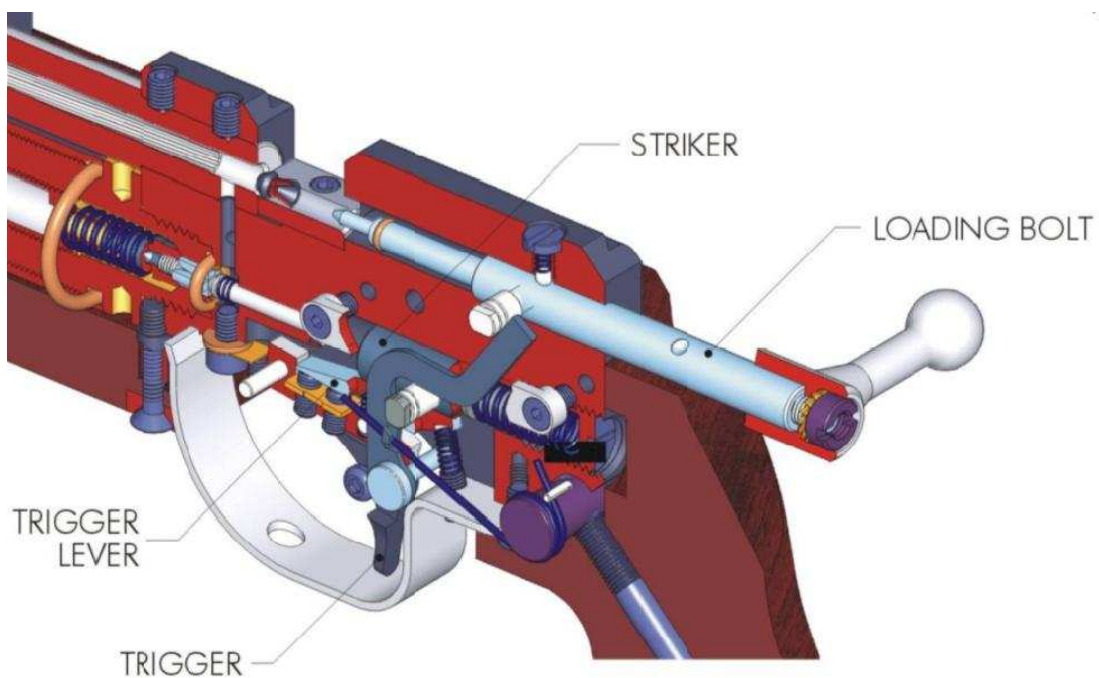


Obr. 12 CZ 200

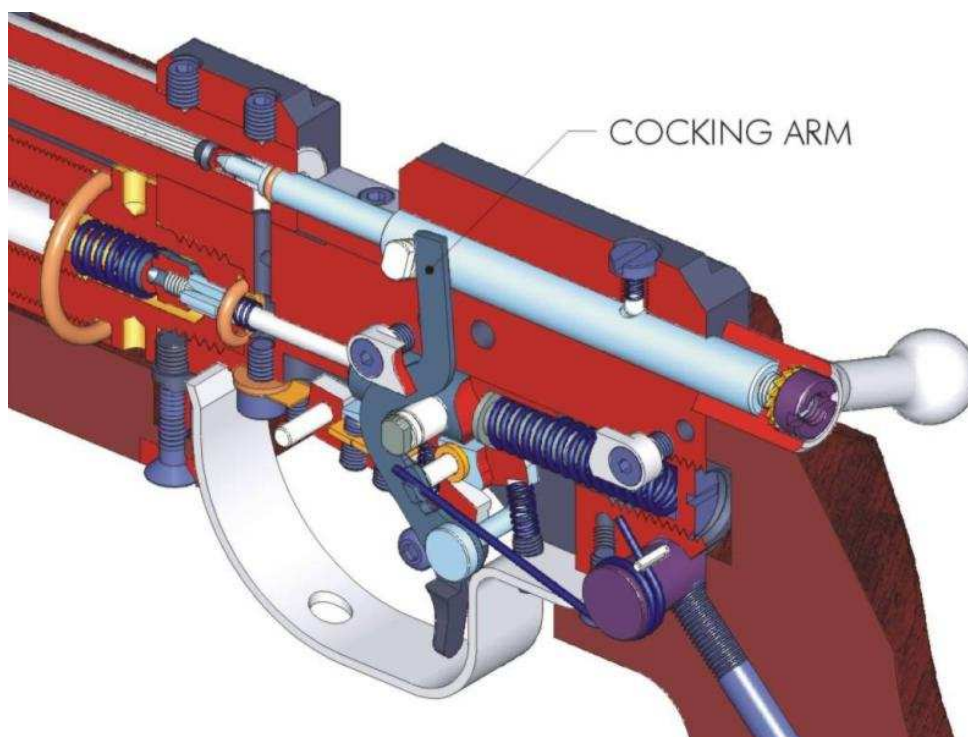
Tato vzduchová puška pracuje na pneumatickém principu, kdy se k vypuštění střely z hlavně využívá potenciální energie stlačeného vzduchu, který se přepouští ze zásobníku tlakového vzduchu. Princip činnosti této vzduchové pušky je patrný z nákresu (obr. 13) a (obr. 14).

Při natáhnutí nabíjecí páky (loading bolt) do zadní polohy se přes pákový mechanismus (cocking arm) stlačí pružina s úderníkem (striker), který se zachytí za páku spouště (trigger lever), (obr. 13).

Poté se do nabíjecí drážky vsune střela a nabíjecí páka se zasune zpět do výchozí polohy (obr. 14). Při sepnutí spouště (trigger) se uvolní úderník, který je urychlován silou pružiny, a narazí do pístové tyče, která na krátký moment otevře ventil tlakového zásobníku. Přitom se přepouští tlakový vzduch kanálkem do prostoru za střelou a předává jí kinetickou energii.



Obr. 13 Náskres CZ 200 – nabíjení



Obr. 14 Náskres CZ 200 – výstřel

Z nákresu je patrné, že základním parametrem návrhu byl omezený prostor. Vnější průměr zásobníku vzduchu činí 28mm a volná délka mezi koncem zásobníku a ústovým nástavcem činí 100mm. Dalším významným parametrem je tlakové namáhání, jelikož tlakový zásobník pracuje s tlakem 20MPa (200bar). Dále bylo nutné použít materiál, který má antikorozní vlastnosti, protože zásobník je vystaven jak povětrnostním podmínkám, tak i vnitřní vlhkosti obsažené ve stlačeném vzduchu.

Regulátor tlaku v tomto systému musí dále splňovat tyto parametry:

- **Přesnou regulaci s minimální diferencí výstupního tlaku**
Čím je menší difference výstupního tlaku, tím je nižší rozdíl rychlostí mezi jednotlivými výstřely, a tím je přesnější střelba.
- **Malá časová konstanta regulace po výstřelu**
Je nutné, aby se tlak v regulované části po výstřelu co nejdříve ustálil na požadovanou hodnotu, neboť prodleva mezi výstřely může být velmi malá ($t \geq 1.5s$).
- **Možnost přesného nastavení velikosti výstupního tlaku**
Jelikož velikost výstupního tlaku úzce souvisí s ústovou rychlostí střely, je nutné mít možnost vyladění systému pomocí tohoto nastavení.
- **Dlouhodobá stabilita a bezpečnost**
Sportovní vzduchové pušky se používají celou sezonu, údržba a nastavení se často provádějí pouze jednou ročně. Proto je nutné, aby regulátor pracoval s dlouhodobou stabilitou, protože i drobná změna v nastavení může výrazně ovlivnit trajektorii střely.
Dále je nutné, aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost, z důvodu toho, že systém pracuje s velmi vysokým tlakem, který může způsobit vážná zranění.

2.4 Vlastní konstrukce

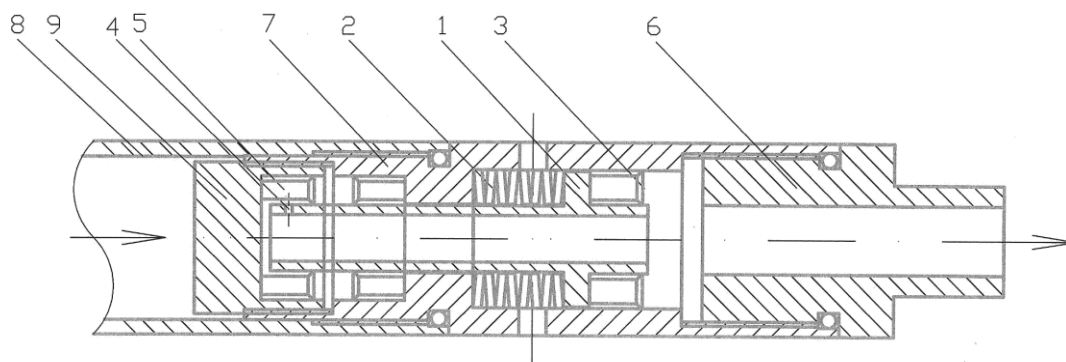
Před vytvořením koncepčního návrhu proběhl několikadenní sběr informací převážně na internetu a v odborné literatuře. Problematika regulace a redukce vzduchu je poměrně obsáhlé téma, přesto však nebyl objeven odpovídající typ regulace, který by splňoval všechny předchozí parametry. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k tvorbě vlastního koncepčního návrhu.

Koncepčních návrhů bylo několik, postupně však byly některé vyřazeny, jelikož nesplňovaly parametry technického či ekonomického rázu. Postupnou selekcí zůstal prakticky jen jeden návrh.

Z tohoto koncepčního návrhu byl vytvořen návrhový výkres a poté výrobní výkres, který posloužil k tvorbě prototypu.

Provedení regulátoru tlaku znázorňuje návrhový výkres (obr. 15), který ukazuje regulátor tlaku v podélném řezu. Těleso 7 regulátoru tvoří vysoustružená tyčovina, na níž jsou závitem přichyceny tlakový zásobník 8 a uzavírací ventil 6. Ve středu tělesa 7 je vytvořen válec pro talířovou pružinu 2 s dutým pístem 1, na němž je uchyceno pístové těsnění 3. Na konci tělesa 7 je závitem přichycena seřizovací matice 9, ve které se nachází pístnicové těsnění 5, pod kterým je přepouštěcí kanálek 4.

Regulátor tlaku pracuje tak, že při zvyšování tlaku v prostoru za dutým pístem 1, tlak působící na pístové těsnění 3 vyvolá sílu, která působí proti talířové pružině 2. Talířová pružina 2 se začne stlačovat, čímž se začne pohybovat dutý píst 1 a po překročení dané síly talířové pružiny 2 se zasune přepouštěcí kanálek 4 pod pístnicové těsnění 5, a tím zamezí zvyšování tlaku za dutým pístem 1. Při snižování tlaku za dutým pístem 1 se začne pružina 2 roztahovat, čímž odsouvá dutý píst 1, a tím vysune přepouštěcí kanálek 4 zpod pístnicového těsnění 5, čímž je opět umožněno pronikání tlakového vzduchu za dutý píst 1. Regulovanou výši tlaku lze měnit změnou tvrdosti pružiny 2 a nebo posunem seřizovací matice 9.



Obr. 15 Návrhový výkres

Seznam vztahových značek

- 1 – dutý píst
- 2 – talířová pružina
- 3 – pístové těsnění
- 4 – přepouštěcí kanálek
- 5 – pístnicové těsnění
- 6 – uzavírací ventil
- 7 – těleso
- 8 – tlakový zásobník
- 9 – seřizovací matice

Splnění základního parametru, tj. omezeného prostoru, je vidět na výrobním výkresu tělesa regulátoru (příloha A). Vnější průměr těla regulátoru kopíruje průměr tlakového zásobníku, tj. 28mm. Prodloužení tlakového zásobníku v důsledku použití regulátoru je 61mm, tím je splněna podmínka maximálního prodloužení 100mm.

Podmínka tlakového namáhání je splněna vhodnou volbou materiálu a velikosti stěny. Výpočet je dán vzorcem 1.4 .

$$t = D \cdot p \cdot \frac{s}{2} \cdot R_e \quad (1.4)$$

Kde t je minimální tloušťka stěny, D je vnitřní průměr, p je tlak, s je koeficient bezpečnosti a R_e je mez kluzu. [4]

Po dosazení hodnot $D=24\text{mm}$, $p=20\text{MPa}$, $s=1.5$, $R_e=310\text{N/mm}^2$ (mosaz) vyšla minimální tloušťka stěny $t=1.16\text{mm}$. Z těchto důvodů byla velikost nejslabší stěny 1.3mm .

Zároveň volbou mosazi (CuZn40Pb2) byl vyřešen požadavek na antikorozi vlastnosti materiálu.

Volbou vhodného technického řešení za použití seřizovací matice byl také vyřešen požadavek na možnost přesného nastavení výstupního tlaku.

Splnění dalších parametrů je rozepsáno v kapitole Měření na prototypu regulátoru a vyhodnocení výsledků.

2.5 Výroba funkčního vzorku

Výroba funkčního vzorku (prototypu) proběhla dle dodané výrobní dokumentace. Výrobní dokumentace se skládala ze 4 výkresů, viz. příloha A, B, C, D. K výrobě byl použit hutní materiál z velkoskladu firmy Feron a.s. Liberec.

Výrobu prototypu zajistil pan Eduard Hradecký ze Staré Paky, k výrobě bylo použito soustruhu a ručního náradí.

Regulátor se dále skládá z pístnicových těsnění firmy Henlich Industrietechnik s.r.o s označením manžety 601 a rozměrů $10 \times 18 \times 6,6$ a $10 \times 20 \times 9$. Tato těsnění se používají v lehkých a středně těžkých podmínkách. Těsnění se vyznačují extrémně dobrou odolností proti otěru, velmi nízkou trvalou tlakovou deformací, vysokou ohebností a velkou pružností při značném teplotním rozsahu. Lze je použít do rozsahu teplot od -45°C do $+110^\circ\text{C}$, tlaku do 60 0bar a kluzných rychlostí do 1m/s . [9]

Dále byly použity talířové pružiny, neboť jsou vhodné k přenášení velkých sil v nízkých zástavbových rozměrech. Zvolena byla opět firma Henlich Industrietechnik s.r.o a její talířové pružiny s označením 0198 a rozměry 20x 10,2x1,25x1,75. Tyto pružiny mohou přenášet maximální sílu 3222N, při kterém se pružina stlačí o 0,5mm. Kuželový tvar talířových pružin umožňuje jejich vrstvení do sad, a tím lze měnit jejich charakteristiku dle potřeby. [9]

Na (obr. 16) je vidět funkční vzorek regulátoru výstupního tlaku pro CZ 200.



Obr. 16 Regulátor výstupního tlaku pro CZ 200

3 Vytvoření výkresové dokumentace

Výkresová dokumentace je základním dorozumívacím prostředkem strojího inženýra. I když ji nebude vytvářet každý inženýr, musí jí každý umět číst do všech obsahových podrobností, aby ji mohl používat. Tento „jazyk“ techniků je celosvětový. Při zvažování, zda technickou dokumentaci vyhotovit podle platných norem, hraje důležitou roli skutečnost, že při požadavku certifikace výrobku nebo výroby podniku, bude vyžadována dokumentace zpracovaná podle platných norem a bude požadována citace technických norem, podle nichž příprava výroby probíhá. [3]

3.1 Obecné zásady pro tvorbu technické dokumentace

- **Volba nezbytných pohledů a řezů.**

Výkres musí být co nejjednodušší, ale přitom zcela jednoznačný.

- **Rozvržení polohy vybraných pohledů a řezů na kreslicí ploše.**

Používat vhodnou velikost pro zobrazení a využít celou kreslicí plochu. Mezi jednotlivé pohledy a případně řezy vkládat dostatečně velký prázdný prostor pro následné umístění kót. Používat přednostně umístění pohledů dle pravidel kolmého promítání.

- **Provést náčrt tenkou čarou s vyznačením os symetrie.**

Náčrt součásti musí být tvarově správný a musí v něm být zobrazeny všechny viditelné hrany. Zakreslit tence pomocné čáry např. šrafy pro vyznačení řezu a schematické znázornění tvaru (závitů atd.).

- **Zvýraznit viditelné hrany středně tlustou plnou čarou a doplnit v případě potřeby pro názornost neviditelné hrany čárkovanou čarou.**

- **Doplnit kótování, vyznačit řezy a použít nezbytný popis.**

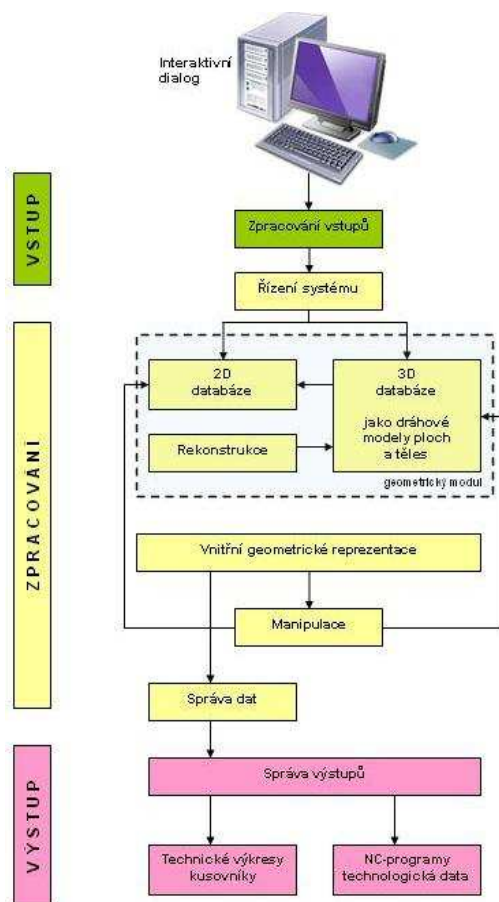
[10]

3.2 Použití CAD systému

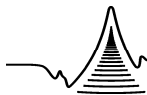
Při vytváření výkresové dokumentace lze v dnešní době využít výpočetní techniky. Jedná se zejména o využití tzv. CAD systémů. Systém CAD umožňuje navrhovat a konstruovat s využitím typizovaných dílů, které jsou již uloženy v paměti. Dále umožňuje provádět konstrukční a pevnostní výpočty, sestavení sestavy z více dílů a narýsování sestavy i jednotlivých dílů. Konstruktor má také možnost vytvořený obraz předmětu na obrazovce počítače natáčet do požadovaného pohledu.

Odpadají tak dříve používané kreslicí pomůcky. Nástrojem je myš a klávesnice. Při změně jednoho rozměru se automaticky mění související rozměry (kóty) v celém návrhu. Díky tomu se konstruktor nemusí zdržovat s rutinními činnostmi a má více času na tvůrčí práci.

I přes různé využívání CAD systémů (stavebnictví, strojírenství, elektronika) je struktura programového vybavení vždy stejná (obr. 17).



Obr. 17 Struktura systému CAD [1]



Komunikaci konstruktéra zajišťuje programový modul pro zpracování vstupu. Výměna dat probíhá interaktivně. Zadávané příkazy jsou hned zpracovány a interpretovány se současným zobrazením změny na displeji monitoru.

Geometrický modul CAD systému provádí výpočty potřebné pro vytvoření geometrického modelu dle zadaných parametrů. Pomocí geometrického modelu lze vyvolat uložený geometrický model, který je možno následně modifikovat a poté opět uložit do paměti. Výstupem CAD systému jsou výkresy dílů, sestav, kusovníky a NC-programy. [3]

Při tvorbě výkresové dokumentace regulátoru tlaku byl použit program AutoCAD 2005.

4 Měření na prototypu regulátoru a vyhodnocení výsledků

V této kapitole jsou rozebrány fyzikální vlastnosti vzduchu a možnosti měření tlaku. Dále zde nalezneme naměřené výsledky na regulátoru výstupního tlaku a zároveň jejich konfrontace s teoretickými výpočty. Při výpočtech se využívalo zjednodušených vzorců, které nezohledňovaly některé fyzikální vlastnosti plynů (tření, určité termodynamické děje).

Také jsou v této kapitole prezentovány výsledky při použití regulátoru ve vzduchové pušce CZ 200 při střelbě.

4.1 Fyzikální vlastnosti vzduchu a měření tlaku

Vzduch je směs plynů, které tvoří plynný obal Země. Skládá se přibližně ze 78% dusíku 21% kyslíku a 1% ostatních plynů. Při 0° C a 1,01bar má hustotu $\rho_0 = 1,29 \text{ kg/m}^3$. Základní vlastností vzduchu využívaného v průmyslu oproti kapalinám je jeho stlačitelnost. Při stlačování vzduchu se zmenšuje jeho objem a zároveň tím stoupá tlak. Základní rovnici pro tlak znázorňuje

vzorec 1.5. Kde p je tlak vzduchu, F je síla, kterou stlačuje vzduch a S je plocha, na kterou působíme silou.

$$p = \frac{F}{S} \quad (1.5)$$

Pomocí Boltzmannovy konstanty lze rovnici pro tlak plynu zapsat jako rovnici 1.6. Kde V představuje objem, T je termodynamická konstanta a R molární plynová konstanta.

$$p = \frac{nRT}{V} \quad (1.6)$$

K měření tlaku vzduchu se nejčastěji používá přístroj zvaný manometr (tlakoměr), (obr. 18). Manometr, je libovolné měřidlo tlaku plynu či kapaliny. Manometry mohou být založeny na několika různých principech.

- **Otevřený kapalinový manometr**

Porovnává hydrostatický tlak kapaliny v trubici s tlakem plynu.

- **Uzavřený kapalinový manometr**

Porovnává hydrostatický tlak kapaliny s atmosférickým tlakem nebo jiným tlakem plynu.

- **Kovový manometr**

Porovnává deformaci kovu (pružiny, tenkostěnného pásku) s atmosférickým tlakem nebo jiným tlakem plynu. [7]



Obr. 18 Manometr [7]

Pro měření tlaků lze také využít elektronické tlakové snímače (obr. 19), které pracují převážně na piezorezistivním principu měření tlaků. [6]



Obr. 19 Elektronický tlakový snímač [6]

4.2 Přípravek pro měření výstupního tlaku

Pro měření výstupního tlaku vzduchu z regulátoru byl zhotoven přípravek (obr. 20). Jedná se o výrobek z ocelové tyče průměru 24mm. V levé části je vytvořen závit pro připojení k ventilu tlakového zásobníku a v pravé části je připojen manometr. Uprostřed přípravku je vytvořen odvzdušňovací ventil, kterým je možné odpouštět regulovaný vzduch. Pomocí tohoto ventilu lze pozorovat výstupní charakteristiku při odběru vzduchu ze systému a také jím lze částečně simulovat podmínky nastávající při výstřelu, kdy dojde k rychlému poklesu tlaku v regulované soustavě. V přípravku byl použit uzavřený kapalinový manometr značky Wika. Stupnice má rozsah 0-250bar s velikostí jednoho dílku 10bar.



Obr. 20 Přípravek pro měření výstupního tlaku

4.3 Matematický výpočet závislosti výstup. tlaku na změnu vstupního tlaku

Ze základního principu tohoto regulátoru byly za pomoci matematických vzorců vypočteny hodnoty změny výstupních tlaků se změnou vstupního tlaku. Při změně vstupního tlaku se změní velikost síly, kterou neregulovaný tlak vzduchu působí přes hranu pístu proti talířovým pružinám, čímž dojde

k dřívějšímu nebo pozdějšímu uzavření přepouštěcího kanálku v závislosti na tom, zda se vstupní tlak zvětšuje či snižuje. Díky tomu se přepustí větší či menší množství vzduchu, což má za následek rozdílný výstupní tlak.

Pro výpočet rozdílu tlaku se stanoví počáteční podmínky tak, že vstupnímu tlaku 200bar bude odpovídat hodnota výstupního tlaku 100bar. Poté je postupně snižován vstupní tlak až na hodnotu 105bar, přičemž je pozorována změna výstupního tlaku. Nejdůležitější faktor, který ovlivňuje velikost difference, je poměr velikostí ploch hrany pístu **S1** k velikosti plochy pravé strany pístu, na kterou působí regulovaný tlak **S2**. Tento poměr se vypočítá dle vzorce 1.7.

Po dosazení hodnot **S1=22.11mm²** a **S2=241.78mm²** vyjde poměrový koeficient **K=0.09**, Tento koeficient udává, o kolik se změní výstupní tlak při změně vstupního tlaku. Velikost difference výstupního tlaku **ΔP_{vy}** při poklesu vstupního tlaku **P_{v1} = 200bar** na **P_{v2} = 105 bar** definuje vzorec 1.8. Kde **ΔP_v** udává rozdíl velikosti vstupního tlaku, viz vzorec 1.9.

$$K = \frac{S_1}{S_2} \quad (1.7)$$

$$\Delta P_{vy} = \Delta P_v \cdot K \quad (1.8)$$

$$\Delta P_v = P_{v1} - P_{v2} \quad (1.9)$$

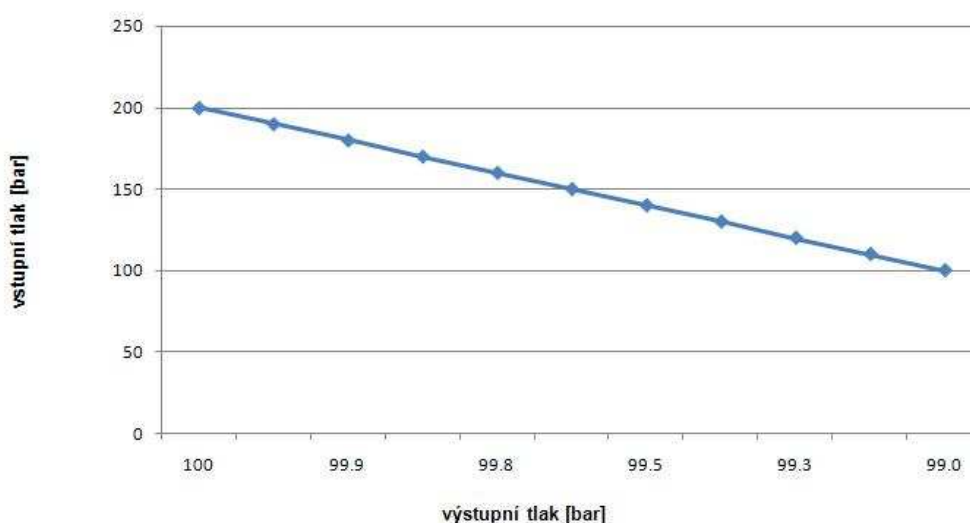
Po dosazení hodnot tlaku a poměrového koeficientu vychází difference výstupního tlaku **ΔP_{vy} = 8.55 bar**. Při dalším snižování vstupního tlaku se přepouštěcí kanálek již trvale otevře a oba tlaky se vyrovnají.

Tento rozdíl tlaků odpadne, pokud se vychází z předpokladu, že zvyšování tlaku při přepouštění probíhá v celé regulované části stejně, čímž je ve všech místech stejný tlak.

4.4 Výsledky měření závislosti výstupního tlaku na změnu vstupního tlaku

Při měření byl použit přípravek pro měření výstupního tlaku popsany v předešlé kapitole. Počáteční podmínky byly nastaveny obdobně jako při matematických výpočtech. Regulátor byl nastaven na výstupní tlak 100bar při vstupním tlaku 200bar. Odečet hodnot výstupního tlaku probíhal po každém snížení vstupního tlaku o 10bar.

Naměřené výsledky jsou dobře patrné na grafu (obr. 21).



Obr. 21 Graf difference tlaku

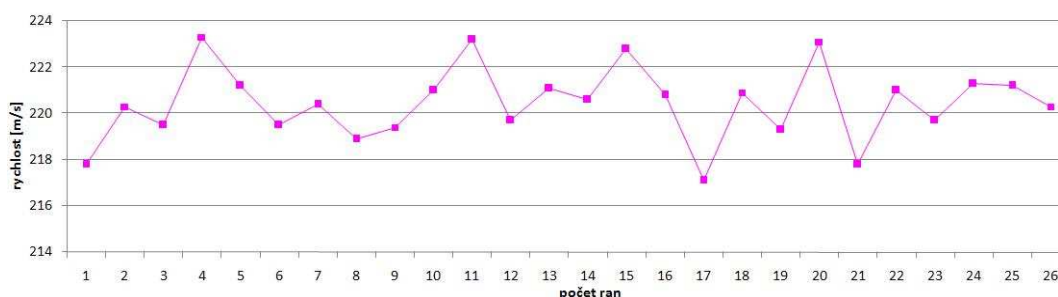
Jak je z grafu patrné, pokles tlaku zcela neodpovídá vypočteným výsledkům. Důvodem je vysoká rychlost proudění vzduchu, kdy tlaková síla působící na hranu pístu zleva a s velmi malým zpožděním působí také na pravou plochu pístu, která je od přepouštěcího kanálku vzdálená 52mm a obě síly se vzájemně vyruší.

Dalším důvodem je malá přesnost odečtu výstupního tlaku na stupnici manometru, jelikož manometr má velký rozsah, který není vhodný pro měření menších tlaků.

Čas potřebný pro dosažení 97% požadované hodnoty výstupního tlaku při předchozím odběru vzduchu byl cca. 1.1s, čímž byl splněn požadavek malé časové konstanty regulátoru.

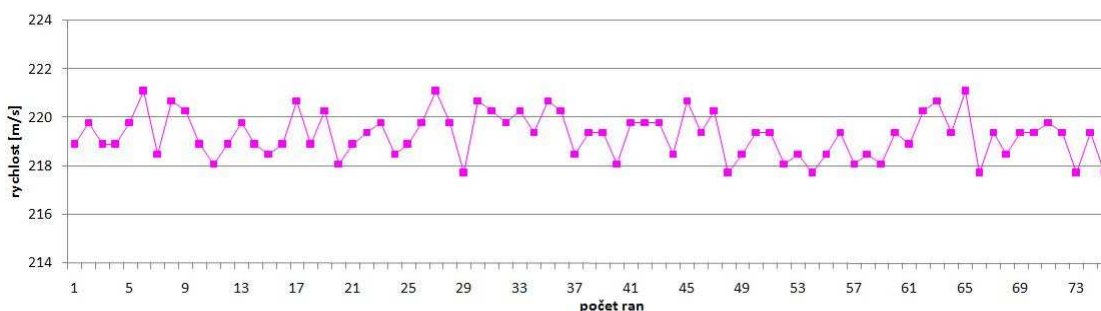
4.5 Výsledky měření při použití regulátoru tlaku v CZ 200

V kapitole 2.3 byl představen princip funkce vzduchové pušky. Před střelbou se tlakový zásobník naplní vzduchem na tlak v rozmezí 150- 200bar. V průběhu střelby tlak postupně klesá a s klesajícím tlakem se mění rychlost. Z těchto důvodů je střelba možná do snížení tlaku zhruba o 40 bar, poté je již rozdíl mezi prvními a posledními výstřely velmi výrazný, řádově 10 a víc m/s. Z těchto důvodů lze na jedno naplnění tlakového zásobníku vystřelit maximálně 33 ran, kdy je konzistence těchto výstřelů v akceptované mezi ± 3 m/s. Průběh konzistence bez použití regulátoru je patrný v grafu (obr. 22).



Obr. 22 Graf konzistence rychlostí jednotlivých střel bez použití regulátoru

Při použití regulátoru tlaku, který se namontuje mezi tlakový zásobník a ventil zásobníku, dojde k tomu, že tlak v komůrce ventilu je udržován na stálé hodnotě, ideálně 100bar. Díky tomu je střelba možná od naplnění na 200bar až po 95 bar. Také se výrazně sníží rozdíl rychlostí mezi jednotlivými výstřely. Průběh konzistence s použitím regulátoru tlaku je patrný v grafu (obr. 23).



Obr. 23 Graf konzistence rychlosti jednotlivých střel při použití regulátoru

Při měření rychlosti střely byl použit chronograf X3100 (obr. 24).



Obr. 24 Chronograf X3100

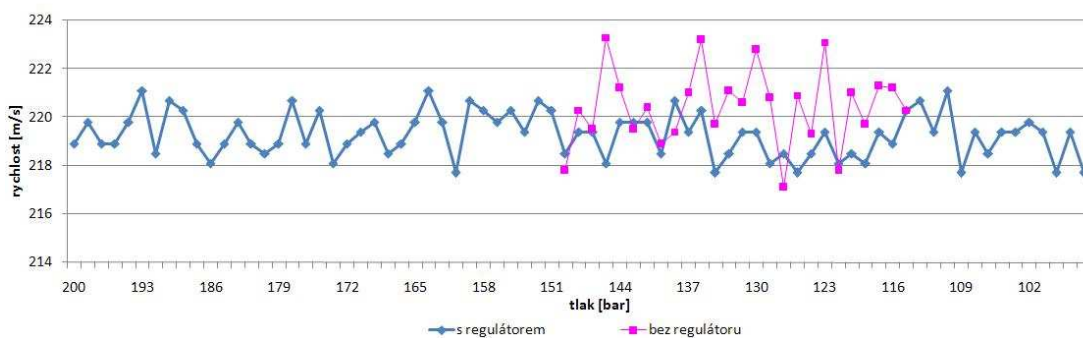
4.6 Vyhodnocení výsledků měření

Při vyhodnocování výsledků měření se vycházelo z naměřených hodnot prezentovaných v kapitolách 4.4 a 4.5.

Z měření regulátoru výstupního tlaku vzduchu byla určena odchylka přesnosti regulace 1% a hystereze 6% z hodnoty regulovaného tlaku. Přesnost regulace je poměrně dobrá. Pásmo necitlivosti okolo 6% je však pro většinu regulačních procesů nevyhovující. V tomto případě je však plně dostačující, jelikož se neodebírá vzduch plynule, ale skokově. Při výstřelu dojde k rychlému poklesu tlaku v komůrce ventilu o více než 50%. V případě nutnosti zmenšení hystereze lze regulační ventil upravit změnou přepouštěcího kanálku, a prodloužení chodu dutého pístu přidáním talířových pružin, čímž dojde ke zvýšení citlivosti akčního členu a zmenšení pásma necitlivosti.

Jak je patrné z výsledků měření, při použití regulátoru tlaku ve vzduchové pušce dojde ke zvětšení počtu střel na jedno naplnění tlakového zásobníku více než o dvojnásobek na 75 střel, a zároveň také dojde ke snížení maximálního rozdílu rychlosti střel téměř o polovinu na $\pm 1,7 \text{ m/s}$. Porovnání

výsledků měření s a bez regulátoru ukazuje graf rychlostí v závislosti na tlaku zásobníku vzduchu (obr. 25).



Obr. 25 Graf konzistence rychlostí jednotlivých výstřelů s a bez regulátoru

5 Možnosti dalšího průmyslového využití navrženého regulátoru

Regulátor tlaku vzduchu byl původně navržen pouze pro konkrétní tlakový systém vzduchové pušky CZ 200. Z těchto důvodů nebyl na některé parametry regulátoru brán zřetel. Přesto lze princip takto navrženého regulátoru uplatit pro všechny vzduchové pušky, jež používají k pohonu střely stlačený vzduch umístěný v tlakovém zásobníku.

Po drobných úpravách, které vedou ke snížení hystereze na přijatelnou mez 0.5-1% a úpravě přepouštěcího kanálku pro zvětšení objemového průtoku, lze regulátor použít v průmyslových zařízeních na regulaci tlaku vzduchu či jiného plynného nebo kapalného media.

Takto navržený regulátor se bude vyznačovat zejména vysokou přesností regulace i při výrazných změnách tlaku v systému a zároveň velkým rozsahem nastavení výstupního tlaku. Při správně volené charakteristice talířových pružin lze výstupní tlak nastavovat od 200bar po 0bar pouhou změnou polohy seřizovací matice. Další velkou předností tohoto regulátoru oproti jiným průmyslově vyráběným regulátorům je jeho kompaktnost a jednoduchost konstrukce. Vzhledem ke své jednoduchosti je regulátor méně náchylný na poruchy a zároveň má výrazně nižší výrobní náklady.

Díky těmto vlastnostem lze navržený regulátor využít zejména jako regulátor tlaku v sestavě úpravy stlačeného vzduchu, u vysokotlakých kompresorů a v potápěčské technice.

Závěr

V této bakalářské práci jsem navrhl a realizoval regulátor výstupního tlaku zásobníku vzduchu pro sportovní vzduchovou pušku CZ 200. Navržený regulátor zajistí dvojnásobný počet výstřelů na jedno naplnění tlakového zásobníku a zároveň podstatně zlepší přesnost střelby.

V první části práce jsem zpracoval problematiku redukce a regulace tlaku vzduchu, a tyto poznatky použil při návrhu vlastního regulátoru tlaku.

Při samotném návrhu jsem vytvořil vlastní koncepční řešení, jelikož jsem neobjevil odpovídající typ regulace, který by splňoval všechny zadané parametry. Nejdůležitější parametry, jež musel z technického hlediska regulátor splňovat, byly malé zástavbové prostory (válcový prostor 28x100mm) a pevnost v tlaku a tahu, neboť pracovní tlak vzduchu dosahuje hodnoty 20MPa. Tyto parametry byly splněny volbou kruhového průřezu o průměru 28mm a délky 61mm. Z hlediska pevnosti byla použita mosaz CuZn40Pb2, která má zároveň antikorozi vlastnosti a velmi dobrou obrobitelnost.

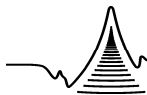
Z funkčního hlediska musel regulátor splňovat zejména přesnou regulaci s minimální diferencí výstupního tlaku, malou časovou konstantu regulace po výstřelu a dlouhodobou stabilitu a bezpečnost. Přesnost tohoto regulátoru dosahuje 99% požadované hodnoty výstupního tlaku a čas potřebný pro její dosažení činí 1.3s. Regulátor byl testován po dobu 4 měsíců, kdy nedošlo k žádné závadě ani změně nastavení výstupního tlaku.

Po drobných úpravách je možné využít tento regulátor v průmyslové oblasti zejména jako regulátor tlaku v sestavě úpravy stlačeného vzduchu, u vysokotlakých kompresorů a v potápěčské technice.

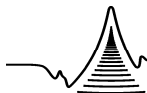
Dle mého návrhu vytvořeného v programu AutoCad byly vyrobeny tyto regulátory a momentálně bezproblémově fungují v patnácti vzduchových puškách CZ 200.

Použitá literatura

- [1] Schmid D. a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa Sobotáles, 2005.
- [2] Fischer a kol. *Základy strojírenství*. Praha: Europa Sobotáles, 2005.
- [3] Pavel Svoboda, Jan Brandejs, Jiří Dvořáček, František Prokeš *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008.
- [4] Růžička M. *Kritéria a postupy při posuzování únavové pevnosti a životnosti konstrukcí* [online]. Učební text ČVUT v Praze [cit.6.3.2009]. Dostupné z: <http://mechanika.fsid.cvut.cz/sources_old/pzk/5_1.html>
- [5] Ing. Milan David *Digitálně řízený proporcionální regulátor tlaku*. [online]. [cit.20.03.2009]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalne-rizeny-proporcionalni-regulator-tlaku>>
- [6] *Tlakový snímač kapalných a plyných médií*. [online]. [cit.22.03.2009]. Dostupné z: <<http://europe.hbc.honeywell.com/cz/>>
- [7] *Manometr*. [online]. [cit.20.03.2009]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Manometr>>
- [8] *Vyrovňovací-stabilizační regulátory 300-310*. [online]. [cit.19.03.2009]. Dostupné z: <<http://www.jetservice.cz/miniregfag/vyrovnaciregulatoryfagcz.pdf>>
- [9] *Pístnicová těsnění 601 a talířové pružiny 0198*. [online]. [cit.20.03.2009]. Dostupné z: <<http://www.hennlich.cz/>>
- [10] Učební texty VSCHT. [online]. [cit.25.04.2009]. Dostupné z: <<http://www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/jirake/docs/>>



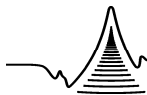
Přílohy bakalářské práce



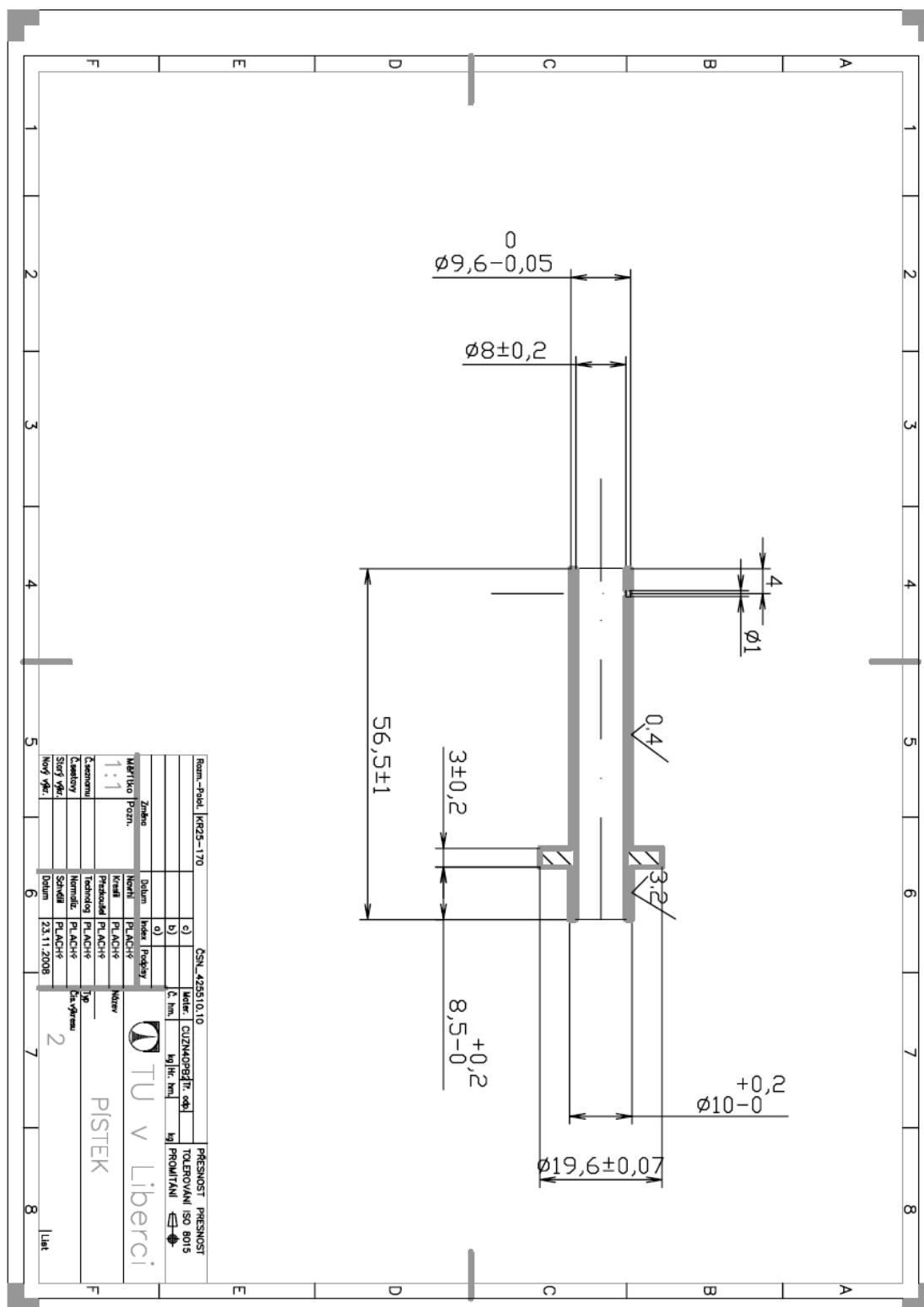
Seznam příloh

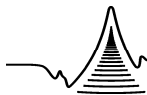
Příloha A. Výkresová dokumentace - TĚLESO	49
Příloha B. Výkresová dokumentace - PÍSTEK.....	50
Příloha C. Výkresová dokumentace - SEŘIZOVACÍ MATICE	51
Příloha D. Výkresová dokumentace - SESTAVA.....	52

[illegible]

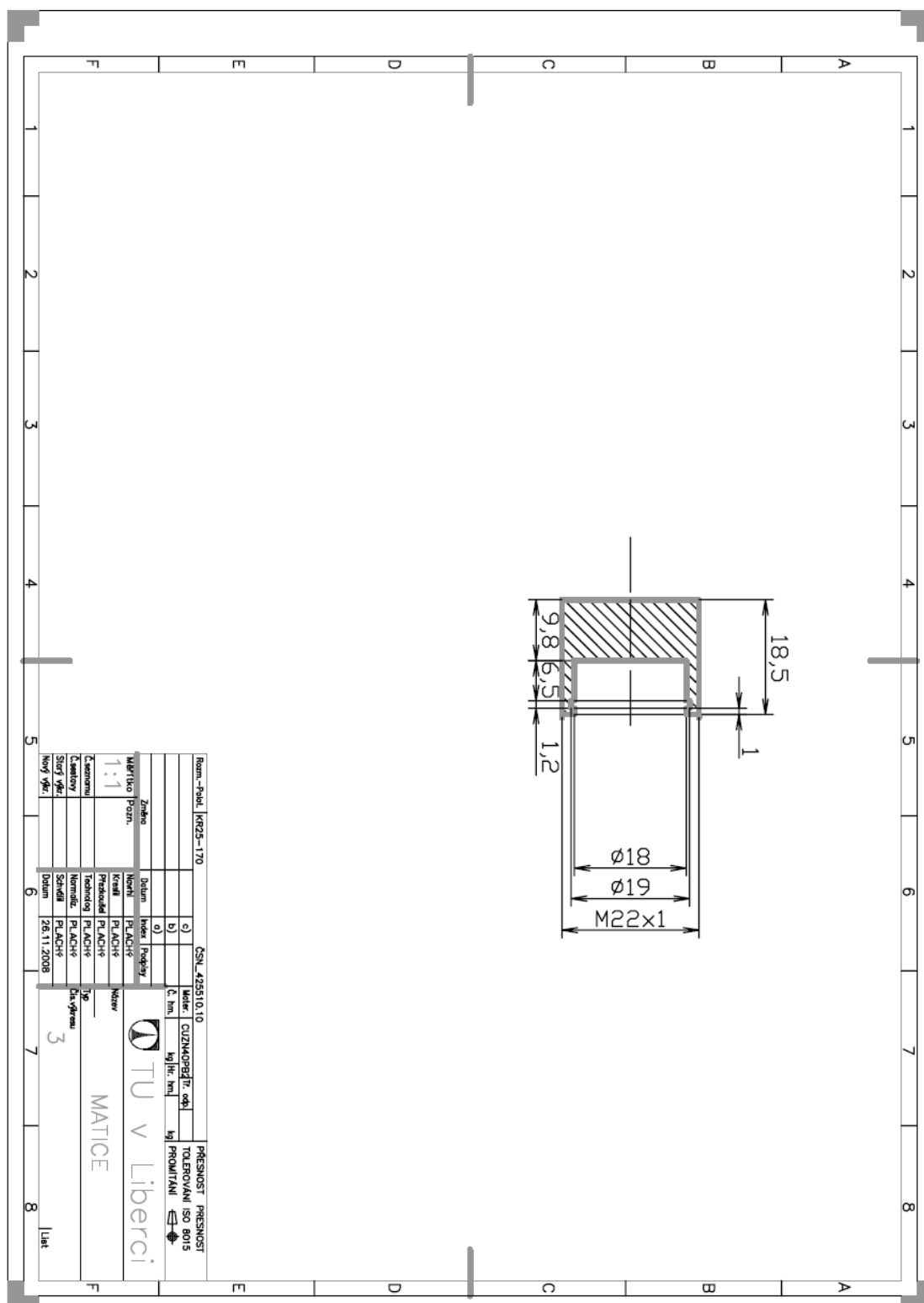


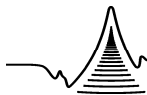
Příloha B. Výkresová dokumentace - PÍSTEK





Příloha C. Výkresová dokumentace - SEŘIZOVACÍ MATICE





Příloha D. Výkresová dokumentace - SESTAVA

